


**Espacenet**

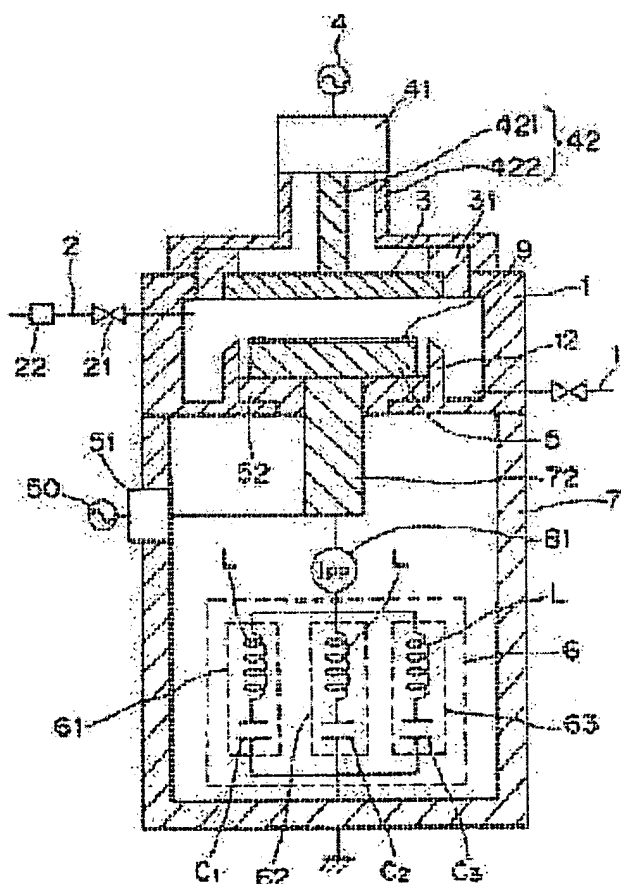
## Bibliographic data: JP 2002313785 (A)

### HIGH FREQUENCY PLASMA TREATMENT EQUIPMENT

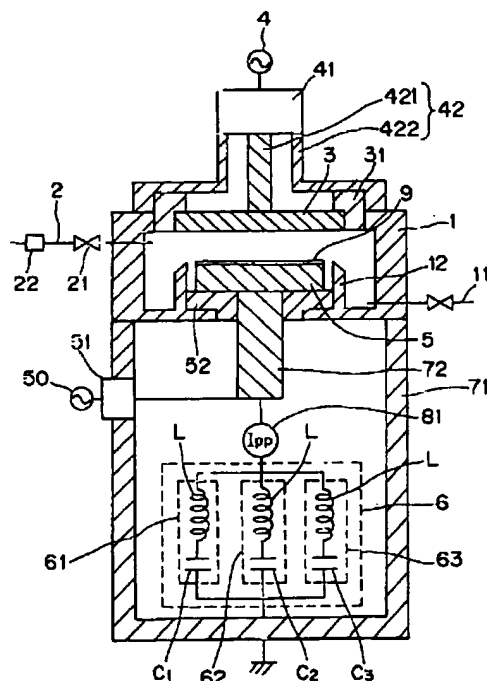
**Publication date:** 2002-10-25  
**Inventor(s):** KOMURA YUKI; MURAI EIZO; SAGO YASUMI; KAGAMI KENICHI; OGAWARA YONEICHI; DOI MIHOKO +  
**Applicant(s):** ANELVA CORP +  
**Classification:** - international: *B01J19/08; C23C16/505; H01L21/205; H01L21/302; H01L21/3065; H05H1/46; (IPC1-7): B01J19/08; C23C16/505; H01L21/205; H01L21/3065; H05H1/46*  
 - European:  
**Application number:** JP20010118815 20010417  
**Priority number (s):** JP20010118815 20010417

### Abstract of JP 2002313785 (A)

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To improve power efficiency in high frequency plasma treatment equipment using high frequency like higher frequency in a VHF band. **SOLUTION:** Process gas is introduced in a treatment chamber 1 in which a substrate 9 is arranged by using a process gas introducing system 2. A high frequency voltage is applied to a high frequency electrode 3 by using a power source 4 for plasma, high frequency discharge is generated, a plasma of process gas is formed, and the substrate 9 is treated by the plasma. An adjuster 6 for resonance makes an internal high frequency line including a discharge space resonate with a frequency of the high frequency voltage and is constituted of a plurality of LC series circuits 61, 62, 63 arranged in parallel. Impedances of the respective LC series circuits 61, 62, 63 are different from each other in a prescribed range, and the internal high frequency line is made to resonate with any one out of the circuits. In the case that external impedance which is impedance except the adjuster 6 is fluctuated, fluctuation of a high frequency current which flows via the discharge space is at most 20%.



Last updated:  
 26.04.2011 Worldwide  
 Database 5.7.22; 93p



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 処理対象である基板が内部に配置される処理チャンバーと、処理チャンバー内にプロセスガスを導入するプロセスガス導入系と、処理チャンバー内に設けられた高周波電極と、高周波電極に高周波電圧を印加することで処理チャンバー内に高周波電界を設定して高周波放電を生じさせてプロセスガスのプラズマを形成する高周波電源とを備え、プラズマの作用によって基板に所定の処理を施す高周波プラズマ処理装置であって、前記高周波電極とともに放電空間を形成するよう処理チャンバー内には別の高周波電極が設けられているとともに、放電空間を含む高周波線路である内部高周波線路が前記高周波電圧の周波数で共振するようにする共振用調整器が設けられており、

この共振用調整器は、インダクタ、キャパシタ又は直列に設けられたインダクタとキャパシタから成る複数の回路が並列に設けられて成るものであって、各回路のインピーダンスは所定の範囲内で異なるものであり、この共振用調整器は、前記回路のいずれかによって前記内部高周波線路が共振するようにするものであることを特徴とする高周波プラズマ処理装置。

【請求項2】 前記所定の範囲内とは、前記共振用調整器のインピーダンス以外のインピーダンスである外部インピーダンスが変動した際、放電空間を介して流れる高周波電流の変動が20%以内となる範囲であることを特徴とする請求項1記載の高周波プラズマ処理装置。

【請求項3】 前記内部高周波線路には、全体のインピーダンスが変化するよう可変インピーダンス素子が設けられており、前記放電の開始の際に前記内部高周波線路の全体のインピーダンスが最適になるよう可変インピーダンス素子を制御するインピーダンス制御系が設けられていることを特徴とする請求項1又は2記載の高周波プラズマ処理装置。

【請求項4】 前記共振用調整器は、前記プラズマが形成された際、前記内部高周波線路が共振するようにする第一の回路のグループと、放電が開始される際、前記内部高周波線路が共振するようにする第二の回路のグループとから成ることを特徴とする請求項1又は2記載の高周波プラズマ処理装置。

【請求項5】 処理対象である基板が内部に配置される処理チャンバーと、処理チャンバー内にプロセスガスを導入するプロセスガス導入系と、処理チャンバー内に設けられた高周波電極と、高周波電極に高周波電圧を印加することで処理チャンバー内に高周波電界を設定して高周波放電を生じさせてプロセスガスのプラズマを形成する高周波電源とを備え、プラズマの作用によって基板に所定の処理を施す高周波プラズマ処理装置であって、前記高周波電極とともに放電空間を形成するよう処理チャンバー内には別の高周波電極が設けられているとともに、この別の高周波電極はアースにつながっており、こ

の別の高周波電極とアースとの間の線路を共振させる共振用調整器が設けられており、

この共振用調整器は、インダクタ、キャパシタ又は直列に設けられたインダクタとキャパシタから成る複数の回路が並列に設けられて成るものであって、各回路のインピーダンスは所定の範囲内で異なるものであり、この共振用調整器は、前記回路のいずれかによって前記線路が共振するようにするものであることを特徴とする高周波プラズマ処理装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本願の発明は、高周波放電により形成されたプラズマによって対象物の表面に所定の処理を施す高周波プラズマ処理装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】LSI（大規模集積回路）等の電子デバイスや液晶ディスプレイ、プラズマディスプレイ等の表示デバイスの製造においては、基板の表面に対し各種処理を施すことが必要である。このような処理には、高周波放電により形成されたプラズマを利用して処理を行う装置（以下、高周波プラズマ処理装置と呼ぶ）が使用されることがある。

【0003】図11は、このような従来の高周波プラズマ処理装置の正面断面概略図である。図11に示す装置は、排気系11を備えた処理チャンバー1と、処理チャンバー1内にプロセスガスを導入するプロセスガス導入系2と、処理チャンバー1内に設けられた高周波電極3と、高周波電極3に高周波電圧を印加することで処理チャンバー内に高周波電界を設定してプロセスガスのプラズマを形成する高周波電源4と、形成されたプラズマによって処理される位置に基板9を保持する基板ホルダー5とを備えている。高周波電源4は、整合器（以下、プラズマ用整合器）41を介して高周波電極3に接続されている。

【0004】上記高周波プラズマ処理装置では、基板ホルダー5によって基板9を保持し、基板9を真空空間に高周波放電を生じさせてプラズマを形成して処理する。例えば、基板9の表面をエッチングする場合、フッ化炭素系ガス等のエッチング作用のあるガスを導入してプラズマを形成し、プラズマ中で生成されるフッ化炭素ラジカルやフッ素ラジカル等との反応を利用して基板9の表面をエッチングする。また、成膜処理としては、高周波放電により形成されたプラズマによってターゲットをスパッタする高周波スパッタリングや、高周波放電により形成されたプラズマ中での気相反応を利用するプラズマCVD（化学蒸着）等がある。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】上述した高周波プラズマ処理装置では、高周波としては工業用に割り当てられた13.56MHz等のHF帯（3MHz～30MHz

z)が多く用いられてきた。しかしながら、処理の品質の向上や処理速度の向上等のためには、より高い周波数を使用する方が、プラズマの形成効率が良くなるため、有利である。即ち、より高い周波数の方が、電子が中性ガス分子に衝突する確率が高くなるため、同じ電力でもイオン化効率が上がり、プラズマ形成効率が高くなる。プラズマの形成効率が良いということは、より低く圧力で処理をすることで異物等の混入の少ない処理が行えたり、プラズマ密度を高くして処理速度を上げたりすることができることを意味する。

【0006】しかしながら、発明者の研究によると、周波数が例えば60MHzのようにVHF帯(30MHz~300MHz)になってくると、プロセスガスに電力を供給する効率が低下し易くなり、この結果、装置全体の電力効率(投入電力で見た処理の効率)はあまり上がらないという課題がある。この一つの理由は、周波数が高くなってくると、装置内に形成される寄生容量において放電が生じやすくなり、投入された電力がこの寄生容量によって消費される分が多くなってしまいうからである。寄生容量は、電極等の装置内の構造物の形状からくる場合が多く、ある面では避けられない。

【0007】本願の発明は、このような課題を解決するために成されたものであり、VHF帯のようなより高い周波数の高周波を利用する高周波プラズマ処理装置において、電力効率を改善するという技術的意義を有する。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため、本願の請求項1記載の発明は、処理対象である基板が内部に配置される処理チャンバーと、処理チャンバー内にプロセスガスを導入するプロセスガス導入系と、処理チャンバー内に設けられた高周波電極と、高周波電極に高周波電圧を印加することで処理チャンバー内に高周波電界を設定して高周波放電を生じさせてプロセスガスのプラズマを形成する高周波電源とを備え、プラズマの作用によって基板に所定の処理を施す高周波プラズマ処理装置であって、前記高周波電極とともに放電空間を形成するよう処理チャンバー内には別の高周波電極が設けられているとともに、放電空間を含む高周波線路である内部高周波線路が前記高周波電圧の周波数で共振するようにする共振用調整器が設けられており、この共振用調整器は、インダクタ、キャパシタ又は直列に設けられたインダクタとキャパシタから成る複数の回路が並列に設けられて成るものであって、各回路のインピーダンスは所定の範囲内で異なるものであり、この共振用調整器は、前記回路のいずれかによって前記内部高周波線路が共振するようにするものであるという構成を有する。また、上記課題を解決するため、請求項2記載の発明は、前記請求項1の構成において、前記所定の範囲内とは、前記共振用調整器のインピーダンス以外のインピーダンスである外部インピーダンスが変動した際、放電空間を

介して流れる高周波電流の変動が20%以内となる範囲であるという構成を有する。また、上記課題を解決するため、請求項3記載の発明は、前記請求項1又は2の構成において、前記内部高周波線路には、全体のインピーダンスが変化するよう可変インピーダンス素子が設けられており、前記放電の開始の際に前記内部高周波線路の全体のインピーダンスが最適になるよう可変インピーダンス素子を制御するインピーダンス制御系が設けられているという構成を有する。また、上記課題を解決するため、請求項4記載の発明は、前記請求項1又は2の構成において、前記共振用調整器は、前記プラズマが形成された際、前記内部高周波線路が共振するようにする第一の回路のグループと、放電が開始される際、前記内部高周波線路が共振するようにする第二の回路のグループとから成るという構成を有する。また、上記課題を解決するため、請求項5記載の発明は、処理対象である基板が内部に配置される処理チャンバーと、処理チャンバー内にプロセスガスを導入するプロセスガス導入系と、処理チャンバー内に設けられた高周波電極と、高周波電極に高周波電圧を印加することで処理チャンバー内に高周波電界を設定して高周波放電を生じさせてプロセスガスのプラズマを形成する高周波電源とを備え、プラズマの作用によって基板に所定の処理を施す高周波プラズマ処理装置であって、前記高周波電極とともに放電空間を形成するよう処理チャンバー内には別の高周波電極が設けられているとともに、この別の高周波電極はアースにつながっており、この別の高周波電極とアースとの間の線路を共振させる共振用調整器が設けられており、この共振用調整器は、インダクタ、キャパシタ又は直列に設けられたインダクタとキャパシタから成る複数の回路が並列に設けられて成るものであって、各回路のインピーダンスは所定の範囲内で異なるものであり、この共振用調整器は、前記回路のいずれかによって前記線路が共振するようにするものであるという構成を有する。

【0009】

【発明の実施の形態】以下、本願発明の実施の形態(以下、実施形態)について説明する。図1は、本願発明の第一の実施形態の高周波プラズマ処理装置の正面断面概略図である。図1に示す装置は、図11に示す装置と同様、排気系11を備えた処理チャンバー1と、処理チャンバー1内にプロセスガスを導入するプロセスガス導入系2と、導入されたプロセスガスに高周波放電を生じさせて処理チャンバー1内にプラズマを形成するプラズマ形成手段と、形成されたプラズマによって処理される位置に基板9を保持する基板ホルダー5とを備えている。そして、プラズマを形成する手段として、同様に、処理チャンバー1内に設けられた高周波電極3と、高周波電極3に高周波電圧を印加して放電を生じさせる高周波電源(以下、プラズマ用電源)4とが設けられている。プラズマ用電源4は、同様にプラズマ用整合器41を介し

て高周波電極3に接続されている。

【0010】処理チャンバー1は気密な真空容器であり、不図示のゲートバルブを介して不図示のロードロックチャンバー又は搬送チャンバーに接続されている。排気系11は、ターボ分子ポンプ又は拡散ポンプ等により処理チャンバー1内を所定の真空圧力まで排気できるようになっている。図1に示す装置は、エッチングを行う装置となっている。具体的には、プロセスガス導入系2は、フッ素系ガス等のエッチング作用のあるガスを導入するようになっている。プロセスガス導入系2は、バルブ21や流量調整器22を備え、プロセスガスを所定の流量で導入するようになっている。

【0011】高周波電極3は、基板ホルダー5に平行に対向した円盤状である。高周波電極3は、絶縁材31を介して処理チャンバー1の上壁部の開口に気密に取り付けられている。プラズマ用整合器41から高周波電極3への線路には、図1に示すように同軸管42が使用されている。同軸管42は、内導体421と、内導体421と同軸の円筒状の外導体422とから成る。尚、同軸管42は、高周波電極3と同軸である。

【0012】一方、基板ホルダー5は、上面に基板9を載置して保持するものである。基板9の保持位置は、基板9が高周波電極3と同軸になる位置である。尚、基板9は薄い円形状であり、高周波電極3や基板ホルダー5も同軸の円盤状である。基板ホルダー5は、高周波電極3とともに放電空間を形成する別の高周波電極になっている。基板ホルダー5は、処理チャンバー1から絶縁材52によって絶縁されている。

【0013】また、基板ホルダー5は、基板9を静電吸着して保持するようになっている。即ち、図1には明示していないが、基板ホルダー5は、上側が誘電体製であり、その誘電体製の部分の内部に不図示の吸着電極が埋設されている。そして、吸着電極に静電吸着用の直流電圧を印加する不図示の吸着電源が設けられている。吸着電源が電圧を印加すると、基板ホルダー5の上面に静電気が誘起され、基板9が静電吸着されるようになっている。

【0014】また、本実施形態では、基板9に対するイオンの入射エネルギーを制御する構成が採用されている。具体的には、基板ホルダー5には、基板9に対するイオンの入射エネルギーを制御する高周波電源（以下、イオン入射用電源）50が整合器（以下、イオン入射用整合器）51を介して接続されている。このイオン入射用電源50が与える高周波電圧は、処理中に基板9にイオンを高い衝撃エネルギーで入射させるために与えられるものである。基板9に高周波電圧が与えられると、プラズマと基板9との間に基板9に向かう電界が設定される。プラズマ中の正イオンは、この電界により加速されて、基板9に入射する。この入射イオンを高い衝撃エネルギーにより、エッチング速度を向上させたり、基板9

に垂直なエッチングを促進させたりする。

【0015】また、基板ホルダー5の周囲を取り囲むようにして、シールド12が設けられている。シールド12も、基板ホルダー5等と同様に、基板9と同軸であり、円筒形である。シールド12は、処理チャンバー1の底壁部に下端が固定されている。シールド12は、VHF帯の高周波が基板ホルダー5の下方の空間に漏れるのを軽減するものである。

【0016】さて、本実施形態の大きな特徴点は、上記プラズマ用電源4の周波数がVHF帯であるとともに、この周波数の高周波を使用した場合でも電力効率が低下しないような工夫を凝らしている点である。以下、この点を説明する。

【0017】まず、プラズマ用電源4としては、本実施形態では、VHF帯に属する周波数例えば60MHzの高周波を発生させるものとなっている。このようなプラズマ用電源4は、例えば電気興業株式会社から入手できる。プラズマ用電源4の構成としては、水晶発振器の出力を増幅する他励式のものが好ましく、出力の大きなトランジスタ式のものが好ましい。

【0018】次に、本実施形態の装置の第二の大きな特徴点は、プラズマが形成される放電空間を含む高周波回路（以下、内部高周波回路）が、プラズマ用電源4の周波数で共振するようになっている点である。具体的には、別の高周波電極である基板ホルダー5とアースとの間には、内部高周波回路を直列共振回路とする共振用調整器6が設けられている。

【0019】処理チャンバー1の下面には、下側容器71が接続されている。下側容器71は、処理チャンバー1と断面が同じ形状大きさの筒状であり、処理チャンバー1と同軸に設けられている。共振用調整器6は、この下側容器71内に設けられている。基板ホルダー5の下面中央から下方に延びるようにして、導体棒72が設けられている。イオン入射用電源50は、導体棒72を介して基板ホルダー5に高周波電圧を印加するようになっている。尚、イオン入射用整合器51は下側容器71の側壁部に設けられている。

【0020】下側容器71は底板部を有し、その底板部の中央でアースされている。共振用調整器6は、導体棒72と、底板部の中央とをつなぐようにして設けられている。共振用調整器6は、図1に示すように、直列に接続されたインダクタとキャパシタとから成るLC直列回路61、62、63が複数並列に設けられた構成である。また、共振用調整器6と導体棒72との間には、高周波電流の正負のピークの幅を検出するPP電流計81が設けられている。

【0021】まず、内部高周波回路における共振について説明する。図2は、図1の装置における共振について説明する等価回路を示す図である。図1に示す共振用調整器6は、並列に設けられた複数のLC直列回路61、

62, 63から成っているが、図2では、説明を簡単にするため、一つにしている。尚、図2に示すインダクタンスLは、図1に示す共振用調整器6の各インダクタによるインダクタンスの他、他の部分（導体棒72等）のインダクタンスも含む。また、図2に示すキャパシタンスCは、図1に示す共振用調整器6の各キャパシタによるキャパシタンスの他、同様に他の部分（プラズマシース等）のキャパシタンスも含む。

【0022】図2に示すr、L及びCの直列回路の共振について考える。周知のように、回路のインピーダンスZは、

$$Z = r + j\omega L + 1/j\omega C \cdots (1)$$

である。この式を以下のように書き換える。

$$Z = r + j\omega L + j / (j\omega C \cdot j)$$

$$= r + j\omega L - j / \omega C$$

$$= r + j(\omega L - 1/\omega C)$$

$$= r + jL(\omega - 1/\omega LC)$$

ここで、 $1/LC = \omega_r^2$  とすれば、

$$Z = r + jL(\omega - \omega_r^2 / \omega)$$

$$= r + jL(\omega \cdot \omega_r / \omega_r - \omega_r^2 / \omega)$$

$$= r + jL\omega_r(\omega / \omega_r - \omega_r / \omega)$$

となる。この式から明らかなように、 $\omega = \omega_r$  であるとき、インピーダンスZは最も小さくなり、 $Z = r$  となる。この状態が共振である。

【0023】共振状態が達成されると、回路の電流が最大となる。このため、放電空間において、電子が中性ガス分子に衝突してイオン化させる効率が最大となり、プラズマ密度が最も高く維持される。このため、処理の効率が最も高くなる。ここで、図1に示す共振用調整器6は、処理チャンバー1内の環境変化等、高周波回路の条件が変わった場合でも、共振状態が十分に維持されるようにする技術的意義を有するものである。以下、この点について説明する。

【0024】図3は、図2に示す等価回路における共振について説明する図である。固定された角周波数 $\omega$ に対して $\omega_r$ を変化させると、 $\omega = \omega_r$ の部分でインピーダンスが最小となり電流が最大となる。従って、共振のためには、 $\omega = \omega_r$ のとなるよう回路全体のLやCを調整する必要がある。通常は、基板ホルダー5とアースとの間に可変容量コンデンサを設け、PP電流計81等によって電流をモニタしながらキャパシタンスを変え、電流が最大となるキャパシタンスの値を予め実験的に求めるようにする。そしてその値にキャパシタンスを固定して実際のプラズマ処理を行うようにする。

【0025】しかしながら、回路全体のLやCは一定ではなく、装置内の環境変化等によって変わる場合がある。例えば、エッチングや成膜処理では、処理チャンバー1内の内壁面や内部の構造物の表面に薄膜が経時的に堆積することが多い。このような膜堆積が生ずると、処理チャンバー内のインピーダンスが僅かではあるが変化

し易い。例えば、膜堆積によって構造物の表面に沿ったインダクタンスが僅かに変化したり、膜堆積によって処理チャンバーの内壁面と構造物との間のキャパシタンスが僅かに変化したりし易い。

【0026】ここで、共振の強さは一般的にはQ値と呼ばれる。この例では、図3に示すように、電流がピーク値の半分になるインピーダンス変化の幅（半値幅）で電流のピーク値を割った値がQ値である。このQ値が大きい方が、共振の度合いは高くなり、前述したイオン化効率の向上による高プラズマ密度化の効果も高く得られる。尚、図3の横軸は、共振用調整器6が持つインピーダンス以外のインピーダンス（以下、外部インピーダンス）である。しかしながら、図3からわかるように、大きなQ値の場合、僅かな外部インピーダンスの変動によっても、回路は共振状態から外れてしまう。従って、前述した環境変化等により共振状態から外れてしまう可能性が高くなってしまう。

【0027】特に問題なのは、回路が共振状態から外れることによってプラズマの状態が大きく変わってしまうことである。例えば、回路が共振状態から外れることによってプラズマ密度が低下すると、中性ガス分子に対して相対的にイオンの量が少なくなる。この結果、プラズマ化学蒸着（CVD）のような成膜処理では、作成されつつある薄膜へのイオン入射量が少なくなってしまう、最終的な薄膜の性質が変わってしまうことがある。また、プラズマエッチングでは、イオンを電界で加速して基板に垂直に入射させようとしても、中性ガス分子に衝突して散乱される量が多くなるため、基板に対して斜めに入射するイオンが相対的に多くなる。この結果、ボーイング形状と呼ばれる中膨れしたエッチング形状しか得られないことがある。

【0028】このように、通常は共振状態で動作させている装置が共振状態から外れると、処理の再現性が大きく低下してしまう。従って、共振状態から外れてしまうと、処理を中断し、再び共振条件を求める実験を行い、再度キャパシタンスを調整し直す必要が生ずる。このような作業は長時間を要し、装置の生産性を大きく低下させる原因となる。

【0029】このような問題を解決するには、抵抗を大きくして半値幅を広くする方法がある。この状態を、図3中に一点鎖線で示す。一点鎖線で示すように半値幅が広がれば、装置の環境変化が生じて共振状態が維持される。しかしながら、半値幅を大きくするとピーク値は小さくなり、Q値即ち共振の強さは低下する。従って、プラズマ密度の向上等の効果が低くなってしまう。

【0030】一方、図1に示す共振用調整器6では、各LC直列回路61, 62, 63のキャパシタのキャパシタンスは同じではなく、少しずつ異なっている（ $C_1 \neq C_2 \neq C_3$ ）。つまり、インピーダンスの異なる三つのLC直列回路61, 62, 63が並列に接続されてい

る。尚、インダクタのインダクタンスは各LC直列回路61, 62, 63とも同じである。

【0031】図4は、キャパシタンスが異なる三つのLC直列回路61, 62, 63が並列に設けられたことを考慮した等価回路である。図4において、外部インピーダンス $Z_o$ は、共振用調整器6以外の部分でのインピーダンスをまとめて示したものである。外部インピーダンス $Z_o$ は可変となっているが、これは、前述したように装置内の環境の変化等により変わる場合があることを示したものである。

【0032】図1及び図4において、プラズマ用電源4が発生させる高周波は、放電空間に導入されてプラズマを形成しながら、基板ホルダー5を経由してアースに流れる。この際、高周波は、並列に設けられた各LC直列回路61, 62, 63に分岐しながらアースに流れる。ここで、三つのLC直列回路61, 62, 63のうちのある一つのLC直列回路例えばLC直列回路62において、そのインピーダンスと外部インピーダンス $Z_o$ とを合成した回路全体のインピーダンスについて、 $\omega = \omega_r$ が成立している、即ち、 $\omega = 1/\sqrt{LC}$ であるとすると、この場合、そのLC直列回路62の部分でインピーダンスが最も小さくなっており、そのLC直列回路62に多くの電流が流れ、その他のLC直列回路61, 63には殆ど流れない。従って、他のLC直列回路61, 63は無視して差し支えなく、結果的に図2に示す等価回路と同じになる。

【0033】ここで、前述したような装置内の環境変化があり、外部インピーダンス $Z_o$ に変化が生じたとする。この場合、他のLC直列回路61, 63のインダクタンスやキャパシタンスが適当な値に設定されていると、そのいずれかのLC直列回路61, 63のインピーダンスと外部インピーダンス $Z_o$ の合成インピーダンスが共振条件を満たすようになる。この結果、同様に、そのLC直列回路61, 63のいずれかに多くの電流が流れ込み、それ以外のLC直列回路は無視できようになる。

【0034】このような状態をまとめて示すと、図5に示すようになる。図5は、図4に示す等価回路における共振について説明する図である。図5には、共振状態を示すピークが三つ示されている。各ピークは、図4に示す三つのLC直列回路61, 62, 63のどれが共振状態を達成するかに対応している。即ち、図4に示すLC直列回路を第一LC直列回路61、第二LC直列回路62、第三LC直列回路63とすると、例えばピーク $P_A$ は第一LC直列回路61によって共振状態となった場合、ピーク $P_B$ は第二LC直列回路62によって共振状態となった場合、ピーク $P_C$ は第三LC直列回路63において共振状態となった場合にそれぞれ相当している。

【0035】図5において、各山は、各LC直列回路61, 62, 63に流入する電流を示している。外部イン

ピーダンス $Z_o$ が変化するに従い、高周波電流は、第一LC直列回路61に多く流入したり、第二LC直列回路62に多く流入したり、第三LC直列回路63に多く流入したりする。いずれにしても、外部インピーダンス $Z_o$ の変化がある範囲に限られているならば、高周波電流はいずれかのLC直列回路61, 62, 63に流れ込み、そのLC直列回路61, 62, 63によって共振状態が維持される。結局、外部インピーダンス $Z_o$ の変化に対して、共振用調整器6全体に流入する高周波電流（以下、調整器流入電流）の変化を示すと、図5中に破線で示すように、各山の包絡線のようなものとなる。

【0036】図5に示す破線と図3に示す一点鎖線とを比較すると明らかなように、図4に示す回路では、共振の強さQ値は低下しない。Q値を低下させることなく、半値幅を広げたのと等価となっている。従って、装置内の環境変化等に対応しつつ、共振を高く維持して常に高プラズマ密度での処理が可能となっている。

【0037】これまでの説明からわかるように、各LC直列回路61, 62, 63におけるキャパシタンス $C_1, C_2, C_3$ は、外部インピーダンス $Z_o$ の変動がどの程度あるかによって適宜選定される。また、これらの値は、使用する高周波の周波数（プラズマ用電源4の周波数）によっても変わる。周波数が例えば60MHz程度のVHFであるとする、キャパシタンスは、例えば、

$$C_1 = 28.5 \text{ pF}$$

$$C_2 = 30.0 \text{ pF}$$

$$C_3 = 31.5 \text{ pF}$$

程度とされる。尚、前述した例では、各LC直列回路61, 62, 63のインダクタのインダクタンスはすべて同じであったが、異なるようにしても良い。この場合、各LC直列回路61, 62, 63内での合成インピーダンスが、外部インピーダンス $Z_o$ の変動に合わせて最適化される。

【0038】次に、上記構成に係る本実施形態の装置の全体の動作について説明する。基板9は、大気側から不図示のロードロックチャンバーや搬送チャンバー等を経由して搬入される。基板9は、基板ホルダー5の上の所定位置に載置され、不図示の吸着電源が動作して、基板9が基板ホルダー5に静電吸着される。不図示のゲートバルブを閉じた後、プロセスガス導入系2が動作して所定のエッチング作用のあるガスが所定の流量で導入される。排気系11は、処理チャンバー1内を所定の真空圧力に維持する。この状態で、プラズマ用電源4及びイオン入射用電源50が動作する。この結果、高周波放電が生じてプラズマが形成されるとともに、基板9にはイオン入射用の自己バイアス電圧が与えられる。プラズマ中では、ラジカルやイオンが生成され、これらの化学種が基板9に達して基板9の表面がエッチングされる。

【0039】例えば、酸化シリコンをエッチングする場合

合、プロセスガスとして四フッ化炭素と水素の混合ガスが導入される。プラズマ中では、フッ素ラジカル、フッ素イオン、水素ラジカル、水素イオンが生成され、これらの化学種は、基板9の表面に存在する酸化シリコンと反応して、フッ化シリコンや水等の揮発物を作り出す。この結果、酸化シリコンがエッチングされる。この際、自己バイアス電圧が基板9に与えられているので、フッ素イオンや水素イオンが基板に効率よく入射する。このため、入射イオンのエネルギーによりエッチングが促進され、またそれらイオンが基板9により垂直に入射するので、サイドエッチングの少ない良好なエッチング形状が得られる。

【0040】このようなエッチングを所定時間行った後、プラズマ用電源4、イオン入射用電源5及びプロセスガス導入系2の動作を止める。処理チャンパー1内を再度排気するとともに、基板9の静電吸着を解除する。そして、基板9を基板ホルダー5から取り去り、不図示のロードロックチャンパーを経由して大気側に取り出す。上記動作において、プラズマが形成された際、前述したように、高周波電極3から基板ホルダー5を経由してアースに至る高周波線路が共振状態となるため、中性ガスのイオン化効率が高くなる。このため、VHF帯のような従来に比べて高い周波数を使用しつつも、電力効率の低下の問題は改善される。また、イオン化効率が高まることから、高密度プラズマによる高速処理が可能となる。

【0041】次に、共振用調整器6の各LC直列回路61、62、63のインピーダンスについて、図6を使用して説明する。図6は、共振用調整器6の各LC直列回路61、62、63のインピーダンスについて説明する図である。前述したように、各LC直列回路61、62、63のインピーダンスは、装置内の環境変化等起因した外部インピーダンスZ<sub>o</sub>の変動をカバーするように設定される。各LC直列回路61、62、63のインピーダンスの差異をΔZとすると、ΔZが大きい方が、外部インピーダンスZ<sub>o</sub>の変動をカバーする上で有効である。

【0042】しかしながら、ΔZがあまりにも大きくなると、図6に示すように、外部インピーダンスZ<sub>o</sub>の変動に対する調整器流入電流の変化（包絡線）は、図5に示すような平坦なものにはならず、ピークが現れた凸凹状になってしまう。調整器流入電流に図6に示すような凹凸が現れるということは、ある外部インピーダンスZ<sub>o</sub>の条件では調整器流入電流が減り、その分だけ共振が弱くなることを意味する。共振が弱くなると、プラズマ密度が低下し、前述したような処理の再現性低下が生ずる恐れが出てくる。より広い範囲の外部インピーダンスZ<sub>o</sub>の変動をカバーしようとしてΔZをさらに大きくすると、凹凸はさらに大きくなる。

【0043】図6に示す調整器流入電流の凹凸のうち、

凹部の部分の極小値の電流をI<sub>min</sub>とし、凸部の部分の極大値の電流をI<sub>max</sub>とすると、凹凸の大きさΔIはI<sub>max</sub> - I<sub>min</sub>となる。本願の発明者の検討によると、ΔI/I<sub>max</sub>を20%以内にしておくと、問題となるような再現性低下が生じないことが判った。従って、ΔI/I<sub>max</sub>が20%以下の範囲でΔZは適宜選定される。上記実施形態では、LC直列回路を複数並列に設けたが、RL直列回路やRC直列回路等を複数設ける場合もある。尚、抵抗Rを設けて共振させると、前述したように共振のピーク値が小さくなって半幅幅が広がるので、この構成は、上記ΔI/I<sub>max</sub> ≤ 20%を達成するための調整に好適に利用することができる。

【0044】次に、第二の実施形態について説明する。図7は、本願発明の第二の実施形態の高周波プラズマ処理装置の正面断面概略図である。図7に示す装置は、第一の実施形態の共振用調整器6の動作をさらに最適化するため、インピーダンス制御系82を付加している。インピーダンス制御系82は、導体棒72と共振用調整器6との間の線路上に設けられた可変キャパシタ821と、可変キャパシタ821を駆動するモータ822と、モータ822を駆動するドライバ823と、ドライバ823を制御するシーケンサ824と、PP電流計81からのデータをデジタル信号に変換してシーケンサ824に入力するADコンバータ825とから主に構成されている。尚、PP電流計81は、導体棒72と共振用調整器6の間、及び、共振用調整器6とアースとの間にそれぞれ設けられている。

【0045】インピーダンス制御系82は、外部インピーダンスZ<sub>o</sub>の大きな変動を想定して設けられている。前述したように、第一の実施形態では、外部インピーダンスZ<sub>o</sub>の変動が、点線で示す包絡線の幅（図5にWで示す）内に入っていれば、共振状態が維持される。しかしながら、それ以上に外部インピーダンスZ<sub>o</sub>が変動してしまうと、共振状態から外れてしまう。この第二の実施形態では、このような事態を考慮し、インピーダンス制御系82を設けている。

【0046】外部インピーダンスZ<sub>o</sub>が大きく変動する状況の一つのは、プラズマ形成のための放電の開始の前後である。放電の開始の前は、放電空間は絶縁体でありインピーダンスは大きい。しかし、放電が開始されてプラズマが形成されると、プラズマはマクロ的には導体に等しくインピーダンスは小さくなる。本実施形態では、このようなことを考慮し、インピーダンス制御系82によって、放電の開始の前後で外部インピーダンスZ<sub>o</sub>を最適に変更するようにしている。

【0047】具体的に説明すると、シーケンサ824は、放電を開始する際には、可変キャパシタ821のキャパシタンスが放電の開始に適した第一の値になるようドライバ823に制御信号を送る。この際の第一の値とは、例えば、プラズマが形成されていない状態での外部



インピーダンス $Z_0$ において内部高周波線路が共振するようにする値である。内部高周波線路は共振するものの、放電空間は絶縁されており、従って、PP電流計81で検出される電流は小さい。

【0048】放電が開始され、中性ガスのイオン化が進むと、ガスはプラズマ状態に移行する。即ち、プラズマが形成される。プラズマが形成されると、放電空間のインピーダンスが大きく低下し、PP電流計81の計測値が急上昇する。シーケンサ824は、PP電流計81の計測値からプラズマが形成されたことを確認する。この確認がされると、シーケンサ824は、可変キャパシタ821のキャパシタンスがプラズマ処理に適した第二の値になるようドライバ823に制御信号を送る。この際の第二の値とは、プラズマが形成されている状態で内部高周波線路が共振するような値である。

【0049】この第二の実施形態によれば、外部インピーダンス $Z_0$ が最も大きく変動する状況である放電の開始の前後において共振状態が維持されるので、プラズマを形成するための放電の開始の際の効率が高く、且つ、プラズマが形成された後もイオン化効率が高く維持されて高密度プラズマによる高速処理が期待できる。

【0050】尚、この第二の実施形態において、PP電流計81及び可変容量キャパシタ821を、各LC直列回路61、62、63に設けても良い。この場合、各LC直列回路61、62、63は、インダクタL、キャパシタC、可変容量キャパシタ821、PP電流計81を直列に接続したものとなる。場合によっては、可変容量キャパシタ821のみとして、固定のキャパシタCは省いても良い。このような構成では、各LC直列回路61、62、63のインピーダンスを独立して変更することができるので、前述した $\Delta Z$ の大きさの調整等が容易に行えるというメリットがある。

【0051】また、この第二の実施形態において、プラズマ形成後にPP電流計81からの信号に従って可変キャパシタ821を自動制御すると好適である。具体的には、シーケンサ824は、PP電流計81からの信号によってプラズマが形成されたことを確認すると、自動制御に移行する。この自動制御では、PP電流計81から信号がある設定値以下になった場合、どちらかの向きにモータ822を回転させ、可変キャパシタ821のキャパシタンスを変更する。その際にPP電流計81が小さくなったら、逆向きにモータ822を回転させる。そして、PP電流計81からの信号が設定値以上になった場合、共振状態が達成されたと判断し、その状態を保持する。状態保持のためには、モータ822はサーボモータ822とされることが好ましい。このようにすると、何らかの原因で共振状態から外れた場合でも自動的に共振状態に復帰することができるので、好適である。

【0052】尚、高周波電極に生ずる自己バイアス電圧を検出する自己バイアス電圧検出器や、プラズマの発光

からプラズマの形成やプラズマの状態をモニタするプラズマモニタが設けられることがある。上述したプラズマ形成の確認は、PP電流計81からの信号ではなく、このような自己バイアス電圧検出器やプラズマモニタからの信号により行っても良い。その方が、プラズマ形成の確認が確実になる場合が多い。

【0053】次に、本願の第三の実施形態について説明する。図8は、本願発明の第三の実施形態の高周波プラズマ処理装置の正面断面概略図である。図8に示す装置は、共振用調整器6以外の構成は、第一の実施形態と同じである。図8に示す装置における共振器用調整器6は、六つのLC直列回路から成っている。六つのLC直列回路は、二つのグループに区分される。第一のグループのLC直列回路61、62、63は、前述した第一の実施形態の共振用調整器6の三つのLC直列回路61、62、63と同一の機能を持つものである。また、第二のグループのLC直列回路64、65、66は、放電を開始する際に内部高周波線路が共振するようにする機能を持つ。以下、この点について説明する。

【0054】前述したように、放電を開始する際の外部インピーダンス $Z_0$ は、プラズマが形成された際の外部インピーダンス $Z_0$ とはかなり異なり、第一のグループのLC直列回路61、62、63によっても共振しないことが多い。従って、本実施形態では、第一のグループのLC直列回路61、62、63とは別に第二のグループのLC直列回路64、65、66を設け、これを利用して共振させるようにしている。

【0055】第二のグループの各LC直列回路64、65、66は、プラズマが形成されていない状態の外部インピーダンス $Z_0$ において内部高周波回路が共振するように設定されたインピーダンスと、これに対して所定の $\Delta Z$ だけバラツキを付与したインピーダンスとを有している。即ち、第一のグループの各LC直列回路61、62、63のインピーダンスは、 $Z_1 - \Delta Z$ 、 $Z_1$ 、 $Z_1 + \Delta Z$ であり、第二のグループの各LC直列回路64、65、66のインピーダンスは、 $Z_2 - \Delta Z$ 、 $Z_2$ 、 $Z_2 + \Delta Z$ である。そして、 $Z_1$ と $Z_2$ とは、放電開始前後における外部インピーダンスの違いを反映した値とされる。尚、 $\Delta Z$ は第一第二のグループで同じでも良いし、それぞれに最適な $\Delta Z$ としても良い。

【0056】前述した第二の実施形態では、放電開始前後の外部インピーダンスの違いに対して可変キャパシタ821の制御により対応したが、この第三の実施形態では、異なる帯域のインピーダンスを持つ二つのグループのLC直列回路61、62、63、64、65、66を設けることにより対応している。第三の実施形態の方が、可変キャパシタ821やその制御系が不要な分、構成が簡略でありコストが安いという長所がある。

【0057】上記各実施形態では、共振用調整器6によって共振する内部高周波線路は、高周波電極3から基板

ホルダー５を経てアースに至る線路であったが、これに限られる訳ではない。例えば、高周波電極３と基板ホルダー５の間や、高周波電極３と共振用調整器６との間で共振させるようにしても良い。請求項１乃至４の発明については、少なくとも放電空間を含む線路であれば良い。

【００５８】次に、本願の第四の実施形態について説明する。図９は、本願発明の第四の実施形態の高周波プラズマ処理装置の正面断面概略図である。図９に示す装置は、共振用調整器６以外の構成は、第一の実施形態と同じである。図９に示す装置における共振用調整器６は、基板ホルダー５とアースとの間の高周波線路が、プラズマ用電源４の周波数で共振するようになっている点である。

【００５９】具体的に説明すると、図９に示す装置は、基板ホルダー５からアースまでの部分において同軸共振器が構成されるようになっている。同軸共振器は、基板ホルダー５、処理チャンバー１の底板部、下側容器７１の側壁部等から成る外導体と、導体棒７２及び共振用調整器６等からなる内導体とが、プラズマ用電源４の周波数で共振する同軸共振器を構成している。共振の範囲は、図９に矢印で示すように、シールド１２の内側面と、下側容器７１の底板部の範囲である。

【００６０】このように基板ホルダー５からアースまでの部分において線路が共振すると、放電の開始が容易になり、より低い電圧でも放電が開始できるようになる。以下、この点について説明する。

【００６１】基板ホルダー５からアースまでの部分において線路が共振すると、基板ホルダー５の電位はアース電位になる。この結果、高周波電極３と基板ホルダー５との間の電位差がより大きくなる。このため、初期電子の加速エネルギーが高くなり、放電の開始が容易となる。一般に、圧力が低くなると放電の開始が難しくなり、放電の開始には大きな電圧が必要になる。しかしながら、この実施形態においては、高周波電極３と基板ホルダー５の間の電位差がより大きくなるので、低い圧力でも放電の開始が容易となる。具体的には、１０Pa以下の低圧でも容易に放電を開始させることができる。尚、この実施形態の構成は、基板ホルダー５からアースまでの線路を分布定数回路として共振させるものであって、回路素子によって集中定数的に共振させるものではない。

【００６２】この実施形態においても、共振用調整器６は、装置内の環境変化等に起因した条件の変動によらず、共振状態を維持する技術的意義を有する。例えば、基板ホルダー５の表面やシールド１２の表面に薄膜が堆積すると、前述したようにインピーダンスが変動することがある。共振用調整器６は、このような変動にかかわらず、前述した共振状態を保持する。この実施形態において、基板ホルダー５からアースまでの間の線路におい

て同軸共振器が形成されるようにしたが、円筒形の空洞共振器（内導体のないもの）でも良い。また、方形の空洞共振器が形成されるようにすることも可能であり、これは液晶ディスプレイ用のような方形の基板を処理する際にある得る構成である。

【００６３】次に、第五の実施形態について説明する。図１０は、本願発明の第五の実施形態の高周波プラズマ処理装置の正面断面概略図である。第五の実施形態の装置は、高周波電極３の構成が前述した各実施形態と異なっている。この実施形態における高周波電極３は、環状カスプ磁場を形成する磁石ユニット４３を多数内蔵している。

【００６４】磁石ユニット４３は、短い棒状の中心磁石４３１と、中心磁石４３１を取り囲む円環状の周辺磁石４３２とからなっている。各磁石４３１、４３２は、上下の端面に磁極を有している。そして、中心磁石４３１と下端と周辺磁石４３２の下端とは互いに異なる磁極であり、中心磁石４３１の下端と周辺磁石４３２の下端との間には下方に膨らむ磁力線が設定される。そして、隣接する磁石ユニット４３が作る磁場は、いわゆるカスプ磁場に相当しており、環状の磁石によって形成されるので、環状カスプ磁場と呼ばれる。

【００６５】環状カスプ磁場は、プラズマ中の荷電粒子が高周波電極に到達するのを抑制する働きがある。このため、プラズマが高周波電極まで拡散して接触することが抑制され、より高密度のプラズマが維持されたり、荷電粒子の衝突による高周波電極の損傷が抑制されたりする効果がある。環状カスプ以外にも、直角格子等の格子の交点の位置に小さな磁石を配置するポイントカスプの構成が採用されることもある。各磁石は、隣接する磁石に対して極性が異なるものとされる。

【００６６】上記各実施形態では、プラズマ用電源４が発生させるVHF帯の高周波は６０MHzであったが、これに限られるものでは勿論ない。さらに高い、例えば１００MHzを越える周波数を使用しても良い。上記各実施形態では、別の高周波電極として基板ホルダー５が兼用されたが、この構成は、処理チャンバー１内の構成を簡単する技術的意義がある。また、放電空間を臨むようにして基板９を保持することができるため、プラズマを効率良く利用して処理を効率化させる技術的意義もある。尚、基板ホルダー５以外に別の高周波電極を設けても良いことは勿論である。

【００６７】上記各実施形態では、基板処理の一例としてエッチングを採り上げたが、スパッタリングや化学蒸着（CVD）等の成膜処理、表面酸化や表面窒化等の表面改質処理、さらにはアッシング処理等を行う装置についても、同様に実施することができる。処理対象である基板９としては、半導体ウェーハの他、液晶ディスプレイやプラズマディスプレイ等の表示デバイス用の基板、磁気ヘッド等の磁気デバイス用の基板等を対象とするこ

とができる。

【0068】

【発明の効果】以上説明した通り、本願の各請求項の発明によれば、装置内の環境変化等に対応しつつ、放電空間を含む内部高周波線路において共振を高く維持することが可能となっている。このため、より高い周波数を使用した場合の電力効率の低下の問題が改善され、かつ、高密度プラズマによる高速処理を再現性良く行うことが可能となる。また、請求項3記載の発明によれば、上記効果に加え、放電の開始前後において内部高周波線路のインピーダンスが最適な値に維持される。従って、放電やプラズマ形成の効率が放電の開始前後のいずれにおいても高い等の効果が得られる。また、請求項4記載の発明によれば、上記効果に加え、構成が簡略でコストが安いという効果が得られる。また、請求項5記載の発明によれば、別の高周波電極がアース電位となるため、低圧でも放電の開始が容易となるという効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本願発明の第一の実施形態の高周波プラズマ処理装置の正面断面概略図である。

【図2】図1の装置における共振について説明する等価回路を示す図である。

【図3】図2に示す等価回路における共振について説明する図である。

【図4】キャパシタンスが異なる三つのLC直列回路61、62、63が並列に設けられたことを考慮した等価回路である。

【図5】図4に示す等価回路における共振について説明する図である。

【図6】共振用調整器6の各LC直列回路61、62、63のインピーダンスについて説明する図である。

【図7】本願発明の第二の実施形態の高周波プラズマ処理装置の正面断面概略図である。

【図8】本願発明の第三の実施形態の高周波プラズマ処理装置の正面断面概略図である。

【図9】本願発明の第四の実施形態の高周波プラズマ処理装置の正面断面概略図である。

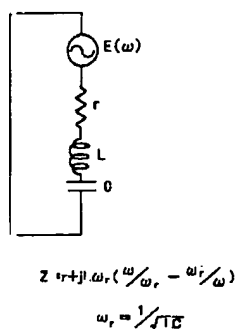
【図10】本願発明の第五の実施形態の高周波プラズマ処理装置の正面断面概略図である。

【図11】従来の高周波プラズマ処理装置の正面断面概略図である。

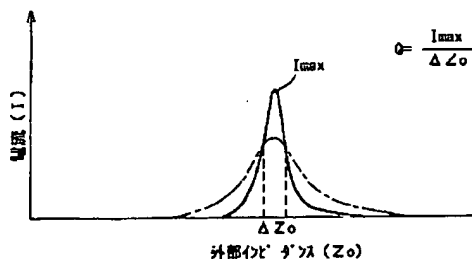
【符号の説明】

- 1 処理チャンバー
- 11 排気系
- 2 ガス導入系
- 3 高周波電極
- 4 プラズマ用電源
- 5 基板ホルダー
- 50 イオン入射用電源
- 6 共振用調整器
- 61 LC直列回路
- 62 LC直列回路
- 63 LC直列回路
- 64 LC直列回路
- 65 LC直列回路
- 66 LC直列回路
- 71 下側容器
- 72 導体棒
- 81 PP電流計
- 82 インピーダンス制御系
- 821 可変キャパシタ
- 822 モータ
- 823 ドライバ
- 824 シーケンサ
- 825 ADコンバータ
- 9 基板

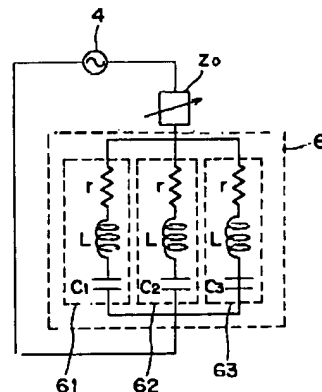
【図2】



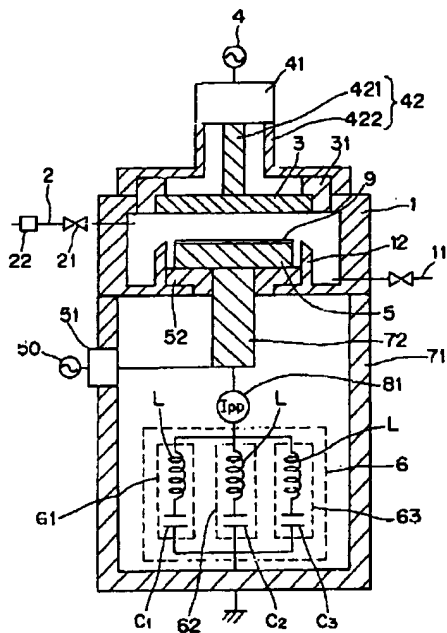
【図3】



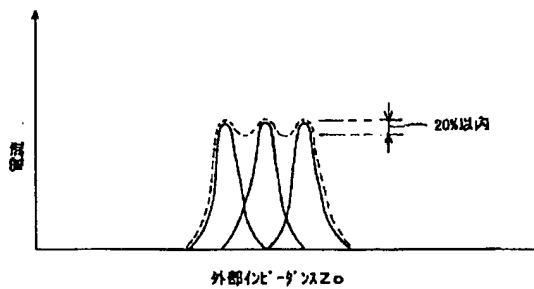
【図4】



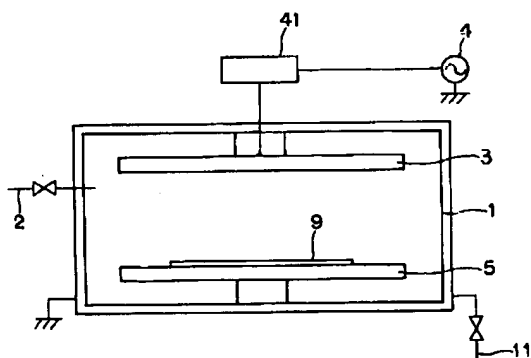
【図1】



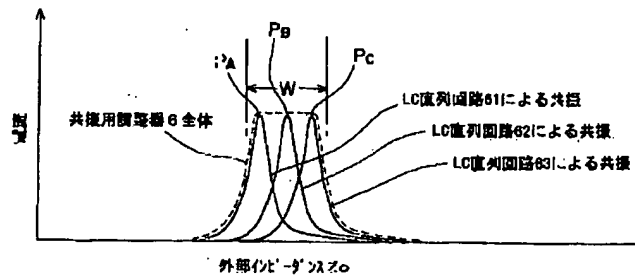
【図6】



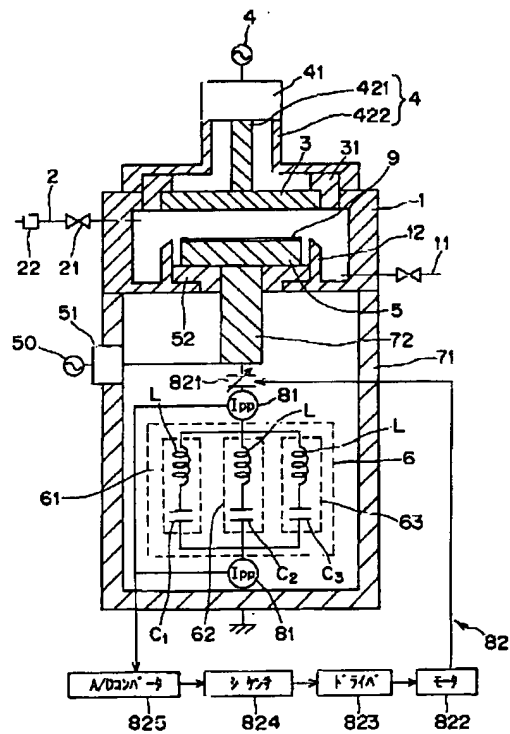
【図11】



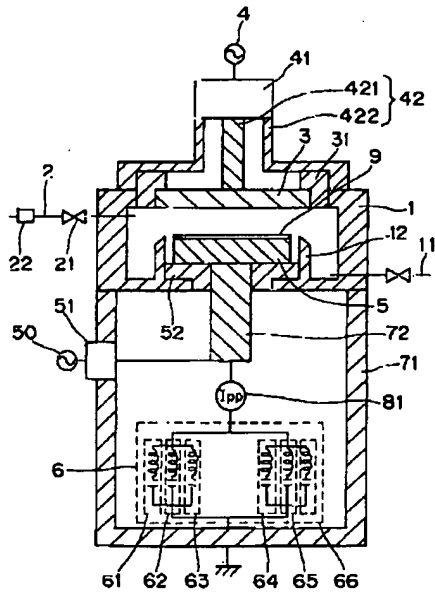
【図5】



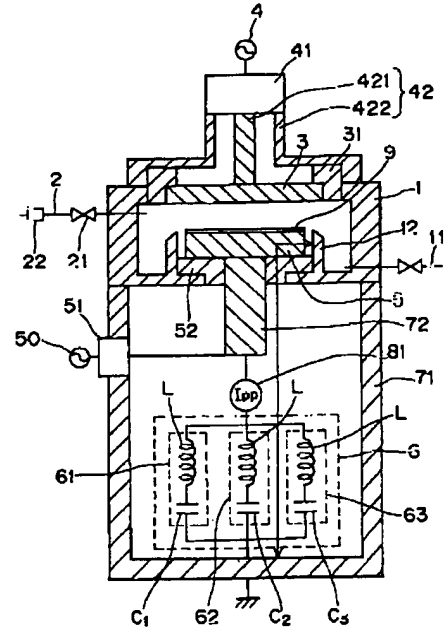
【図7】



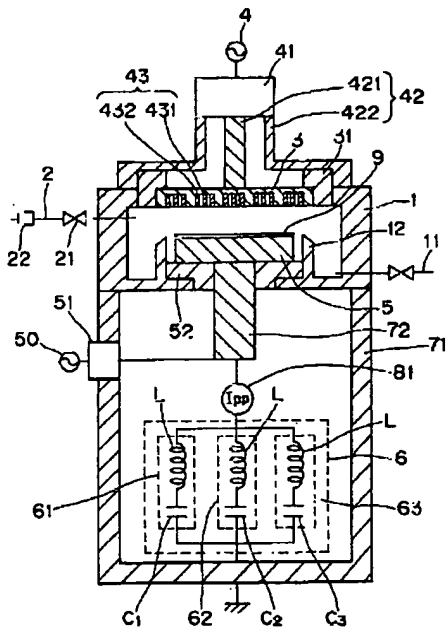
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 佐護 康実  
東京都府中市四谷5丁目8番1号アネルバ  
株式会社内  
(72)発明者 加々美 健一  
東京都府中市四谷5丁目8番1号アネルバ  
株式会社内  
(72)発明者 小河原 米一  
東京都府中市四谷5丁目8番1号アネルバ  
株式会社内

(72)発明者 土居 美保子  
東京都府中市四谷5丁目8番1号アネルバ  
株式会社内  
Fターム(参考) 4G075 AA30 BC06 BD14 CA47 DA03  
EB41 EC21 FC13  
4K030 FA01 KA30 LA15  
5F004 AA01 AA16 BA04 BA20 BB11  
BD04 BD05 DA01 DA24 DB03  
5F045 AA08 BB02 BB09 DP04 EB02  
EH14 EH19 GB08